地下水-农田生态系统关键过程综合试验模拟装置（禹城地下水农田模拟装置）

欧阳竹[1,2,3] 乔云峰[1,2,3,4] 占车生[1,2,3] 孙志刚[1,2,3,4] 于延春[1,2] 蔡晓光[1,2,3] 李发东[1,2,3,4*]

1 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101

2 中国科学院禹城综合试验站 禹城 251200

3 山东禹城农田生态系统国家野外科学观测研究站 禹城 251200

4 中国科学院大学 资源与环境学院 北京 100049

摘要 黄河下游引黄灌区是我国重要的粮食保障基地。该地区当前面临严重的缺水和水资源分配不足问题，从而导致地下水位快速下降。由此对未来农业及生态环境的影响存在诸多未知和不确定性，已成为当前农田生态系统研究的热点。在中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目的支持下，中国科学院禹城综合试验站（以下简称“禹城站”）/山东禹城农田生态系统国家野外科学观测研究站2016—2020年建成了16个地下水位可调控的封底样地群构成的地下水-农田生态系统关键过程综合试验模拟装置（以下简称“禹城GAS”）。禹城GAS集成了大型封底样地子系统、地下水位自动调控子系统、土壤温度-湿度-盐分监测子系统、土壤水采集子系统、根系生长监测子系统、地下水水量-水质动态监测子系统、关键带动态监测子系统、农田生态系统水碳氮交互作用研究子系统、近地面无人机作物长势-多光谱监测子系统等9个子系统；通过多方法定位监测、多要素分层解析、多尺度立体监测组成的综合监测体系，禹城GAS可支撑开展地下水动态变化情景下农田生态系统碳氮水养分循环、粮食安全、生态安全和环境安全相关的基础试验研究和国际前沿探索。

关键词 地下水位，农田生态系统，生态过程，试验研究，科学装置

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20210705006

*通信作者

资助项目：中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目（KFJ-SW-YW011）
修改稿收到日期：2021年7月5日

1 地下水-农田生态系统关键过程综合试验模拟装置建设的目的和意义

黄河下游引黄灌区是我国重要的粮食安全保障基地之一。自黄淮海大开发以来，中国科学院等单位的专家在此开展了艰苦卓绝的努力，实现了该地区粮食的丰产稳产[1]。目前，以平原为主的华北3省（河北、河南和山东）的粮食产量占全国产量的23.8%[2]。然而，粮食生产以消耗大量水资源为代价[3]，并随着社会经济发展而导致水资源短缺[4]，从而引起地下水下降[5]。加之叠加气候变化的影响，我国农业水资源缺乏尤为严重[6]。此外，农业带来的生态环境问题特别是氮、磷超标、温室气体排放等问题近年也持续受到关注[7,8]。

根据中国科学院禹城综合试验站（以下简称“禹城站”）近20年的监测结果显示（图1），黄河下游引黄灌区地下水埋深总体呈逐渐增加趋势，特别是近10年持续下降非常明显。在冬小麦返青期和抽穗期并叠加引黄水缺乏时，尤为严重——地下水埋深可短时降低到7 m以下。此外，黄河下游引黄灌区入境径流量减少，也是地下水埋深下降的重要原因之一。根据统计，以山东省的主要引黄灌溉控制站高村站为例，20世纪60年代高村站平均来水量为4.973×10^{10} m^3；20世纪70年代为3.602×10^{10} m^3；20世纪80年代有所增多，为3.739×10^{10} m^3；20世纪90年代年径流量大幅度减少至2.221×10^{10} m^3；进入21世纪初期减至1.823×10^{10} m^3[9]，来水量呈快速递减的趋势。

地下水下降成为黄河下游引黄灌区不可回避的问题，由此引起的土壤结构如何改变？作物生长将会作出何种响应？农田生态系统过程将受到怎样的影响？可能带来的生态环境效应有哪些？为解决这些科学问题，亟待构建一个大型科学装置，以开展面向未来的情景研究。在中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目的支持下，2016—2020年禹城站建成了地下水-农田生态系统关键过程综合试验模拟装置（Groundwater-Agroecosystem Experimental Simulator，以下简称“禹城GAS”）。禹城GAS集成了大型封底样地子系统、地下水位自动调控子系统、土壤温度-湿度-盐分监测子系统、土壤水采集子系统、根系生长监测子系统、地下水水量-水质动态监测子系统、关键带动态监测子系统、农田生态系统水碳氮交互作用研究子系统、近地面无人机作物长势-多光谱监测子系统。

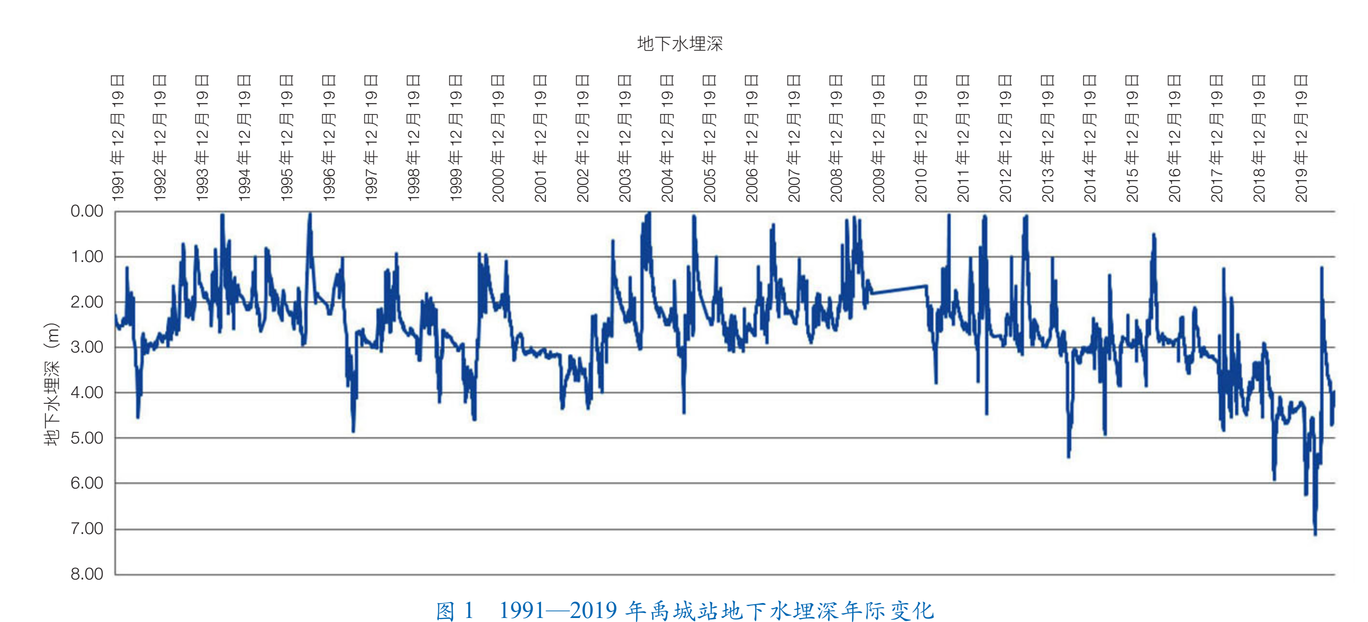


图1 1991—2019年禹城站地下水埋深年际变化

Figure 1 Annual variation of groundwater table from surface at Yucheng Station of 1991 to 2019

通过多方法定位监测、多要素分层解析、多尺度立体监测组成的综合监测体系，禹城GAS可支撑开展地下水动态变化情景下农田生态系统碳氮水养分循环、粮食安全、生态安全和环境安全相关的基础试验研究和国际前沿探索。2020年12月，康绍忠院士在现场验收禹城GAS时评价："地下水-农田生态系统关键过程综合试验模拟装置是研究黄河下游平原地下水变化对农田生态系统关键过程影响机制、探索未来地下水变化对农业生产的影响及适应对策的重要平台"。

科技基础设施的建设是国际上开展基础科学研究的利器。欧洲通过建设生态系统分析和实验基础设施（AnaEE）[10,11]，以及美国通过CO_2浓度富集实验（FACE）[12]和变化环境下云杉和泥炭地响应实验（SPRUCE）等，发表了大量高水平论文，为模型的验证积累了大量数据，奠定了生态学领域研究良好基础，掌握了生态环境领域的话语权[13-15]。中国科学院前瞻性地从2016年开始布局野外站重点科技基础设施建设工作，通过顶层设计、有针对性地全面布局，面向世界科技前沿、针对国家重大需求，陆续建成了温带次生林生态系统塔群监测研究平台[16]、华北山前平原农田关键带观测研究平台[17]和中国北方沙区水量平衡自动模拟监测系统[18]等重点科技基础设施，旨在建成野外站的"镇站之宝"。2020年底，中国生态系统研究网络（CERN）与来自非洲、亚洲、澳大利亚、欧洲和北美洲的5个大陆尺度生态系统观测网络的管理机构共同签署了谅解备忘录，共同建立"全球生态系统研究基础设施网络"（GERI）①。长期以来，CERN非常重视基础设施网络化建设与运行[19]，指出通过联合建立样地和联盟，实现基础设施功效的最大化[20-22]。禹城站作为CERN的核心成员，禹城GAS也将加入GERI，面向全球开放共享。

2 禹城GAS建设目标、难点与解决方案

2.1 建设目标

研发和建设地下水-农田生态系统关键过程综合试验模拟装置，建立引黄灌区的高效农田生态系统科研基地平台，建成引领农田生态系统综合试验模拟研究的先进科学装置。通过禹城GAS的建设，促进农学、生态学、地理学、气候变化、水文水环境等领域的交叉和创新，推动学科发展；培养和吸引人才，开展前沿性、拓展性研究；全面提升禹城站的综合研究能力，在我国农田生态系统研究和创新中发挥引领作用。

2.2 建设难点与解决方案

（1）*地下水的升降调控。*设施内部表面积较大，与周边天然环境存在较大差异。在天然环境中，土壤分层较为明显，但是并不连续，且植物常年生长，形成了大规模的根系空隙，以及小动物留下的孔洞等，为地下水的相对自由升降提供了良好基础。因此，自然农田生态系统中，地下水上升和下降的运动相对较为通畅，调控时间短。根据观测数据，禹城站每年7月雨季前地下水往往在5 m以下。几次大降雨或引黄灌溉来水后，地下水位可在1周内迅速上升至1.5—2.0 m。在禹城GAS中，封底样地采用水沉法分层填充，无法在分层填充过程中模拟天然空隙，并容易形成地下水含水层的隔断。禹城GAS中地下水位调节柱面积为0.08 m^2，样地面积为50 m^2，而连通管径为32 mm。自然水压较小而导致地下水升降速度较慢。为此，禹城GAS采用增压供水方案以加快地下水升降。在设施底部铺设不同粒径的反滤层，在反滤层内部埋设供水管道及管道外壁缠绕滤网，以防止堵塞出水孔。此外，在进入口处，增加供水压力，通过

①"全球生态系统研究基础设施网络"共建协议正式签署，中国生态系统研究网络（CERN）为发起机构. (2020-12-24). http://www.cern.ac.cn/2news/detail.asp?channelid1=110100&id=12522.

调节供水压力的大小和供水时间，实现水位的快速调节。水位下降通过自流的方式实现。

（2）样地内土壤盐分控制。禹城 GAS 的样地四周由加防水层的 60 cm 厚混凝土边墙构成，底部为厚约 1 m 的干砌石加混凝土垫层，并加铺防水层。随着运行时间的增加，土壤盐分将不断积累，对土壤盐分进行调控时，将耗费较长时间。禹城 GAS 采用反冲洗系统控制盐分。在供水口的位置设置了排水口，在正常运行时，排水口与供排水系统连接，精确测量供排水量。冲洗时，排水口直接与设施的排水系统相连，将高含盐水排出设施外面，达到反冲洗目的。

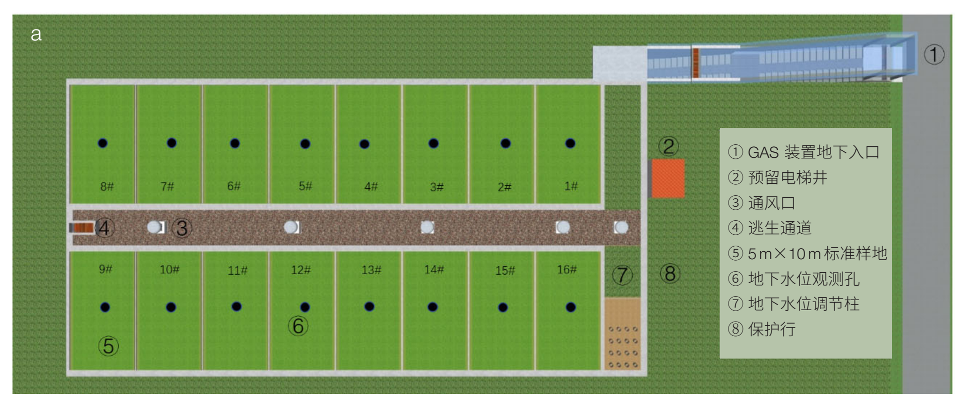
（3）根窗带来的渗漏。禹城 GAS 的根系观测系统包括 2 个部分：根窗的人工观测；根系观测仪自动观测。为了研究土壤和地下水环境对作物生长过程的影响，根窗设计高度与设施高度接近，除上下部分的接合处外，整体高度约 7.5 m。禹城 GAS 的地下水位变化较大，观测窗承受的压力变化也大——根窗材质为钢化玻璃，与不锈钢的接合部容易受压力的反复变化造成变形导致渗水。为此，在整个设施维护中，需要做好防渗工作。禹城 GAS 采用柔性垫层防渗技术。为了减少水位反复变化对观测窗造成的影响，在观测窗与不锈钢支撑构件之间加装高强度密封各层，水位变化所形成的压力改变不会对钢化玻璃造成破坏性的压力。

3 禹城GAS的组成与功能

禹城 GAS 装置占地面积 1 400 m^2，地下总计 3 层，合计动用土石方 26 000 m^3（图 2）。由于禹城站常年地下水位为 1.5—4.5 m，装置建设过程中使用了共 9 眼深度 20 m 的机井连续抽水 8 个月，将附近地下水埋深降至 12 m，以保证施工。禹城 GAS 装置主要由以下 9 个子系统组成（图 3）。

（1）大型封底样地。禹城 GAS 由 16 个大型封底样地组成，长 10 m，宽 5 m，高 8 m。禹城 GAS 样地面积为 50 m^2，这是联合国粮食及农业组织（FAO）推荐农田生态系统试验样地面积，可以保证足够时间内采样不重复。

（2）地下水位自动调控子系统。该子系统有手动



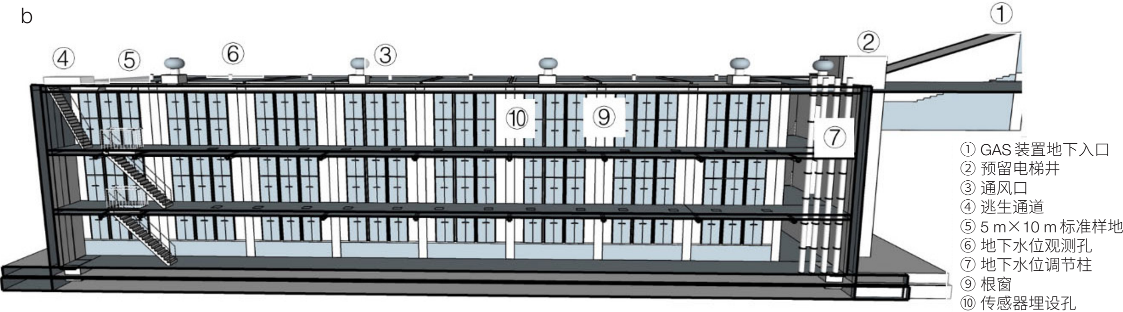


图 2　禹城 GAS 设计结构图

Figure 2　Designed structure of Yucheng GAS

（a）平面布局图；（b）立面图

(a) Layout design; (b) Side elevation

控制和自动控制 2 种模式；其中，手动控制可以用来进行阀门开关和水位采集测试。该子系统可单独对每个样地的地下水位进行调控。水位控制范围 0—8 m，调控精度 2 cm。设置了 16 个带液位观测管的不锈钢水柱作为调控水柱，每个样地分别与 1 个调控水柱通过管道和相关控制水流的设备相连；控制方式为通过采集器获取水柱实时液位。根据软件界面提供的液位上下限位设置值，控制进水阀与排水阀开启和关闭来调节水位保持在上下限位之间。软件界面能够设置和调整硬件设备连接关系，能够实时显示当前水位值，并保存数据记录。

（3）土壤温度-湿度-盐分监测子系统。该子系统包括传感器（美国 Campbell Scientific公司，型号 CS655）、数据采集器（美国 Campbell Scientific 公司，型号 CR6）和无线传输系统。设计 10 层土壤深度测定温度、湿度（含水率）、盐分（EC），深度分别为 10、20、40、60、100、200、300、400、550、750 cm；埋设土壤温湿盐传感器进行原位监测，研究样地内的温度、水分、盐分运移，特别是为研究地下水位波动及降雨的影响、对作物蒸散耗水的响应等提供数据支撑。

（4）土壤水采集子系统。该系统由陶土头、真空泵、采样瓶组成。采用国产的分体式土壤溶液采集器。陶土头由 25 mm 有机玻璃保护连接头，并分别装直径 2.2 mm 和 3.2 mm 不锈钢管；其中，直径 2.2 mm 管直伸陶土管底部，另一根伸到陶土管内的上端，并连接 2 根聚乙烯软管，土壤溶液采集器软管在地表预留 70—100 cm 并加套塑料保护套管。陶土头埋设深度为 40、60、80、100、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600、650、700、750 cm 各埋设 1 只，水平深入土壤中 2.0 m；样地边壁周围的水分运动对其产生的影响尽量小，以保证获取数据的科学性。与水温盐传感器水平距离约 20 cm。通过负压将土壤周围水分传输进入采样瓶。土壤水样品可以进行稳定同位素、元素分析，常规养分分析，重金属、有机污染物分析，为农田生态系统的物质运移提供数据支撑。

（5）根系生长监测子系统。每个样地安装 2 个长 750 cm、宽 20 cm 根窗，用于观测根系生长动态。同时，每个样地安装 3 支直径 4.5 cm、长 2 m 的根管，采用根系扫描仪定期测量作物根系生长进程。对特殊生长时期，采用人工根钻采样，洗根后采用根系扫描仪进行根系的定量研究。

（6）地下水水量-水质动态监测子系统。每个样地安装地下水位、温度、盐分自动监测传感器，获得地下水水量和水质的动态变

图 3　禹城 GAS 内部系统组成及其配置
Figure 3　Components of Yucheng GAS

化（每30 min采集1次），支撑水量-水质联合响应研究。采集地下水样进行水质分析，可有助于揭示农田生态系统地下水-土壤-作物-大气连续体的交互作用关系。

（7）关键带动态监测子系统。定期对样地进行电阻率层析成像（ERT，中国重庆地质仪器厂，型号DZD-8）扫描，结合原位土壤水温盐监测结果，可以解析长期耕作和地下水位波动对土壤物理结构和盐分等理化性质的空间分布机制。

（8）农田生态系统水碳氮交互作用研究子系统。该系统将结合同化箱（美国Picarro公司，型号Picarro2508）和温室气体分析仪（美国Thermo Fisher公司，型号17i），开展作物光合、呼吸和土壤温室气体（包括CO_2、CH_4和N_2O），以及氨气（NH_3）、氮氧化物（NO和NO_2）排放，作物生产力，碳、氮、磷循环等开展交叉研究。

（9）近地面无人机作物长势-多光谱监测子系统。定期运用无人机（中国大疆公司，型号M600 PRO）机载的小型机载多光谱仪（美国PEAU公司，型号S3）、高性能机载热红外成像仪（捷克Workswell公司，型号Pro）对16个样地进行扫描，获得不同处理条件下的热量分布、作物光谱分布；然后，结合地面生物测量数据和微气象等数据，解析作物长势、评估作物养分状况、预测作物产量。

4 科学研究成效和对相关学科领域的支撑

4.1 科学研究成效

禹城GAS以自主创新集成研发为基础，实现了装置的先进性。① 集成方面。通过大尺度调控地下水水位，以及集成水位调控、动态监测、原位采样，可实现较大地下水变动对土壤生态系统中碳、氮、磷等生物地球化学循环过程影响机制的研究。在此基础上，探索地下水升降对农业生产的影响，同时促进农业生态系统中所涉及的土壤物理学、土壤微生物学、生态水文学、农业遥感等学科的进一步交叉融合。② 扩展性方面。禹城GAS的样地组成数量、地下水位（0—8 m）可调范围及功能都较过去的实验装置有了较大延展。特别是在功能延展上，禹城GAS装置可以开展的研究内容较水利部门的水文、水利监测装置有了较大提升。此外，为了适应平台的共享需求，在埋设现有传感器的基础上预留了传感器埋设位置，可以满足不同学科的科学家根据需要埋设新的传感器；在地面以上预留了足够的空间，可以满足在地面以上开展空间验证等科研工作。

禹城GAS自2020年11月正式运行以来，获得160个点位土壤温度、含水率、电导度观测数据266万个；获得16个点位地下水位数据2 128万个。禹城GAS的初步结果表明，原位、高频、立体的数据将有助于定量解析地下水-农田生态系统的动态变化过程。当地下水位发生改变时，土壤和地下水的理化性质、作物的响应及长期的适应过程等，都将成为未来的研究热点问题。结合前期的研究基础，研究成果发表在*Agronomy*等期刊[23,24]，支撑了国家自然科学基金-山东联合基金重点项目（U1906219、U2006212）、青年项目（42007155）的研究工作。

禹城GAS将利用运移稳定同位素和原位观测技术等，阐明黄河下游引黄灌区典型盐渍土分布、主要可溶物垂向和水平运移机理、影响因素及机制，探明可溶物与环境因子的相互作用及其机制，揭示盐渍土可溶物特别是碳、氮、磷和重金属空间运移带来的区域环境效应，解析农田生态系统面向未来变化情景下生态系统过程与环境效应的响应，从而为黄河流域高质量发展提供基础研究平台和科学数据支撑。

4.2 科学支撑

通过禹城GAS的建设，促进农学、生态学、地理学、气象学、水文学及环境科学等领域的交叉和创新，推动学科发展；培养和吸引人才，开展前沿性、拓展性研究；全面提升禹城站的综合研究能力，在我

国农田生态系统研究和创新中发挥引领作用。可以依托该平台开展多方面科学研究：

（1）地下水位变化对农田水量平衡变化的影响机制，特别是地下水-土壤-作物-大气连续体（GSPAC）系统的地下水和土壤水、土壤-作物根系、土壤-大气、作物-大气等多界面的水分交互关系；

（2）地下水位变化对作物产量形成和水分养分利用的影响机制；

（3）长期农田耕作对土壤结构及地下水位动态的影响机制；

（4）农田生态系统水文地球化学循环过程与机制；

（5）深层盐分运移、影响因素与模拟；

（6）地下水位变化对农田生态系统生物多样性的影响，包括作物、杂草、昆虫、微生物等结构；

（7）地下水位变化对极端气候影响作物生长的助推机制；

（8）长期农田生态系统的区域环境效应；

（9）农田生态系统为碳达峰、碳中和作贡献的潜力、机理、机制研究。

5 共享方案和研究计划

禹城 GAS 建设完成的同时，建立了设施的运行管理办法和规章制度。此外，针对该设施未来对外开放、吸引更多科研人员开展合作研究，建立对外开放、使用和共享机制，为此制定了设施使用办法、数据共享条例及成果归属等相关规定。以学术委员会为核心，指导平台的中长期科学发展规划和数据共享。该研究设施将面向农学、生态学、地理学、气象学、水文学、环境科学等相关研究领域的国内外专家开放共享。设施试运行稳定后，将生成不同级别的数据产品，向社会共享。未来，禹城站将努力争取资金，拟建立开放基金，吸引国内外特别是青年科学家到站利用禹城GAS平台开展研究。

致谢 在项目执行过程中，得到了中国科学院冯仁国和杨萍的大力支持与悉心指导，以及西安理工大学张建锋的技术指导。

参考文献

1 欧阳竹, 邓祥征, 孙志刚, 等. 面向国民经济主战场的区域农业研究. 地理学报, 2020, 75(12): 2636-2654.

2 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2020.

3 吴凯, 唐登银, 谢贤群. 黄淮海平原水量变化对农业生产力的影响及对策. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 40-42.

4 吴凯, 唐登银, 谢贤群. 黄淮海平原典型区域的水问题和水管理. 地理科学进展, 2000, 19(2): 136-141.

5 Chen J, Fukushima Y, Taniguchi M. Groundwater and its association with sustainability of agriculture in the North China Plain Changes in Water Resources Systems: Methodologies to maintain water security and ensure integrated management// Proceedings of Symposium HS3006 at IUGG2007. Perugia: IUGG, 2007: 258-265.

6 Piao S, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. Nature, 2010, 467: 43-51.

7 Tilman D, Fargione J, Wolff B, et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change. Science, 2001, 292: 281-284.

8 Zhang Y, Shi P, Li F D, et al. Quantification of nitrate sources and fates in rivers in an irrigated agricultural area using environmental isotopes and a Bayesian isotope mixing model. Chemosphere, 2018, 208: 493-501.

9 王宏乾. 黄河下游引黄供水规模变化及影响因素分析. 西安: 西安理工大学, 2007.

10 Mougin C, Azam D, Caquet T, et al. A coordinated set of ecosystem research platforms open to international research in ecotoxicology, AnaEE-France. Environmental Science and Pollution Research International, 2015, 22(20): 16215-16228.

11 Clobert J, Chanzy A, Le Galliard J-F, et al. How to integrate experimental research approaches in ecological and environmental studies: AnaEE France as an example. Frontiers in Ecology and Evolution, 2018, 6: 43.

12 Norby R J, Zak D R. Ecological lessons from free-air CO_2 enrichment (FACE) experiments. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2011, 42(1): 181-203.

13 牛书丽, 王松, 汪金松, 等. 大数据时代的整合生态学研究——从观测到预测. 中国科学：地球科学, 2020, 50(10): 1323-1338.

14 于贵瑞, 牛书丽, 李发东, 等. 陆地生态系统环境控制实验的研究方法及技术体系. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2275-2289.

15 Medlyn B E, Zaehle S, de Kauwe M G, et al. Using ecosystem experiments to improve vegetation models. Nature Climate Change, 2015, 5(6): 528-534.

16 朱教君, 高添, 于立忠, 等. 温带次生林生态系统塔群监测研究平台（清原科尔塔群）. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 351-361.

17 沈彦俊, 闵雷雷, 吴林, 等. 华北山前平原农田关键带观测研究平台（栾城关键带观测平台）. 中国科学院院刊, 2021, 36(4): 502-511.

18 张志山, 赵洋, 张亚峰, 等. 中国北方沙区水量平衡自动模拟监测系统（沙坡头蒸渗仪群）. 中国科学院院刊, 2021, 36(6): 733-743.

19 杨萍. 中国科学院野外科学观测研究网络未来发展的思考. 中国科学院院刊, 2021, 36(1): 104-112.

20 杨萍, 白永飞, 宋长春, 等. 野外站科研样地建设的思考、探索与展望. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 125-135.

21 杨萍, 于秀波, 庄绪亮, 等. 中国科学院中国生态系统研究网络（CERN）的现状及未来发展思路. 中国科学院院刊, 2008, 23(6): 555-561.

22 杨萍. 需求导向 优势互补 合作共赢 推进野外站联盟建设——野外站联盟建设的进展与展望. 中国科学院院刊, 2014, 29(5): 636-639.

23 Du K, Qiao Y, Zhang Q, et al. Modeling soil water content and crop-growth metrics in a wheat field in the North China plain using RZWQM2. Agronomy, 2021, 11(6): 1245.

24 李琦, 李发东, 张秋英, 等. 基于HYDRUS模型的华北平原小麦种植区水盐运移模拟. 中国生态农业学报（中英文）, 2021, 29(6): 1085-1094.

（相关图片见封二）

Groundwater-Agroecosystem Experimental Simulator (Yucheng GAS)

OUYANG Zhu[1,2,3] QIAO Yunfeng[1,2,3,4] ZHAN Chesheng[1,2,3] SUN Zhigang[1,2,3,4]
YU Yanchun[1,2] CAI Xiaoguang[1,2,3] LI Fadong[1,2,3,4*]

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2 Yucheng Comprehensive Experiment Station, Chinese Academy of Sciences, Yucheng 251200, China;
3 Shandong Yucheng Agro-ecosystem National and Observation Research Station, Chinese Academy of Sciences, Yucheng 251200, China;
4 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Irrigation zones located in the lower reaches of Yellow River is a vital food security base in China. Currently, this area is facing the problem of rapid decline of groundwater level due to serious water shortage and insufficient water resources allocation. Therefore, there are many unknown and uncertain impacts on the future agriculture and ecological environment, and it is the current hotspot of agroecosystem research. However, under the dynamic scenarios, for innovatively carrying out the studies on large groundwater table from surface, and conducting the critical process researches such as sectional structure of farmland soil, crop root growth dynamics, interaction between surface water and groundwater, groundwater-soil-plant-atmosphere continuum response, dynamic variation and influence mechanism of water-salt-nutrient of agroecosystem, it is urgently needed to build a comprehensive experiment simulation infrastructure. Funded by the "Key Scientific and Technological Infrastructure Construction Project for the Field Station Network of Chinese Academy of Sciences (CAS)", Yucheng Comprehensive Experiment Station of Chinese Academy of Sciences (Shandong Yucheng Agro-ecosystem National Observation and Research Station) completed the platform construction of Groundwater-Agroecosystem Experimental Simulator (Yucheng GAS), an infrastructure with three floors (10 m underground) constituted by 16 bottom sealed sample plots with controllable groundwater levels after five-year strenuous efforts (from 2016 to 2020). Yucheng GAS integrates nine subsystems including the large scale bottom sealed sample plots system, underground water level automatic controlling; soil temperature, water content, and salinity monitoring; soil water sampling; root growth monitoring; groundwater quantity and quality monitoring; critical zone observation of agroecosystem; water-carbon-nitrogen nexus in agroecosystem; and multispectral crop condition monitoring by unmanned aerial vehicle (UAV). Yucheng GAS, a comprehensive monitoring methodology with multiple methods of stereo-position monitoring, multi-factors chromatograph, and multi-scales three-dimensional observation, is expected to support the basic experimental research and international frontier explore in water-carbon-nitrogen cycles in agroecosystem, food security, ecological security, and environmental security under the scenario of dynamically changed groundwater in future.

Keywords groundwater table, agroecosystem, ecosystem processes, experimental research, scientific infrastructure

*Corresponding author



欧阳竹　中国科学院地理科学与资源研究所研究员。中国科学院黄三角农业工程实验室常务副主任，国家“渤海粮仓”科技示范工程山东示范区首席专家。中国科学院特聘核心骨干人才。主要从事农田生态系统可持续管理研究和中低产田改造。

E-mail: ouyz@igsnrr.ac.cn

OUYANG Zhu　Professor of the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research (IGSNRR), Chinese Academy of Sciences (CAS), Doctoral Supervisor, special core talent of CAS, and currently the Executive Deputy Director of the Yellow Triangle Agricultural Engineering Laboratory of CAS. He is also the Chief Expert of the National “Bohai Granary” Science and Technology Demonstration Project in Shandong Demonstration Area. His research Mainly engages in the sustainable management of farmland ecosystem research, and improvement of moderate- and low yielding cropland. E-mail: ouyz@igsnrr.ac.cn



李发东　中国科学院地理科学与资源研究所研究员，中国科学院大学教授。山东禹城农田生态系统国家野外科学观测研究站/中国科学院禹城综合试验站执行站长，致公党中央科技委委员，中国科学院海外引进人才。任《资源科学》等多家杂志编委。近年主持国家自然科学基金委项目5项，发表论文100余篇。主要从事农田生态系统过程与环境影响研究。E-mail: lifadong@igsnrr.ac.cn

LI Fadong　Professor of IGSNRR, CAS, also Doctoral Supervisor and Professor at University of CAS, Executive Director of Shandong Yucheng Agro-ecosystem National Observation and Research Station (SYA-NORS), Ministry of Science and Technology (MOST), Yucheng Comprehensive Experiment Station of CAS. He is editorial board members of *Resources Science* and several other journals. In recent years, as a PI, he finished and is executing 5 projects funded by the National Natural Science Foundation of China and has published more than 100 peer-reviewed papers. His researches are mainly engaged in the agroecosystem processes and environmental impacts. E-mail: lifadong@igsnrr.ac.cn

■责任编辑：张帆